



KOREAN PATENT ABSTRACTS(KR)

Document Code:A

(11) Publication No.1020000066471 (43) Publication Date. 20001115

(21) Application No.1019990013582 (22) Application Date. 19990416

(51) IPC Code:
C04B 35/10

(71) Applicant:

KOREA ADVANCED INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

(72) Inventor:

KANG, SEOK JUNG

LEE, HO YONG

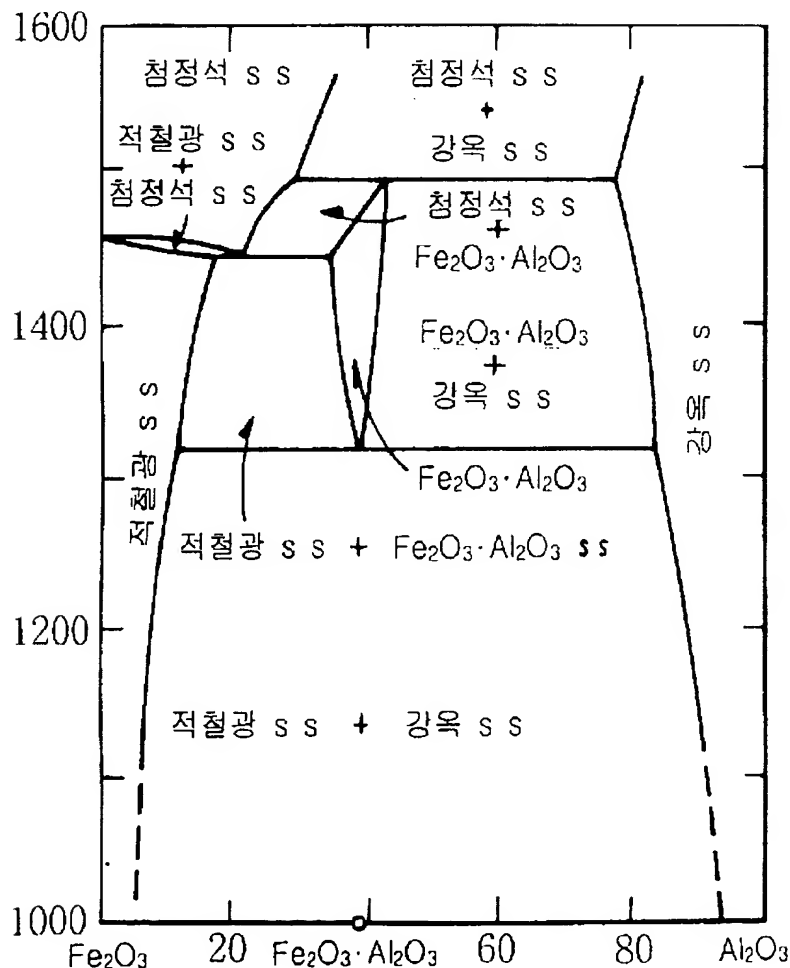
LEE, YEONG U

(30) Priority:

(54) Title of Invention

SURFACE-MODIFIED ALUMINA-BASED CERAMICS AND PREPARATION THEREOF

Representative drawing



(57) Abstract:

PURPOSE: A surface modified alumina-based ceramics and preparation thereof are provided, which increase short-crack toughness and adapt to a conventional ceramic manufacture line by adding a simple heat-treating process.

CONSTITUTION: The surface modified alumina-based ceramics are produced by sintering Al₂O₃ formed body containing Fe whose content is 0.01-20 wt.% of Al₂O₃, being calculated in terms of Fe₂O₃, in a lower O₂ partial pressure atmosphere(N₂, 5N₂-5H₂, H₂, etc.), followed by heat-treating at 1000-1600°C for a few min-hrs. in a higher O₂ partial pressure atmosphere(80N₂-20O₂, O₂) than that of sintering.

COPYRIGHT 2001 KIPO

if display of image is failed, press (F5)

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) Int. Cl. ⁶ C04B 35/10		(45) 공고일자 (11) 등록번호 (24) 등록일자	2002년03월21일 10-0329120 2002년03월06일
(21) 출원번호	10-1999-0013582	(65) 공개번호	특2000-0066471
(22) 출원일자	1999년04월16일	(43) 공개일자	2000년11월15일
(73) 특허권자	한국과학기술원		
(72) 발명자	대전 유성구 구성동 373-1 이영우 대전광역시유성구구성동373-1 이호용 서울특별시강남구압구정동한양아파트23동901호 강석중 대전광역시유성구어은동99한빛아파트132동502호		
(74) 대리인	황이남, 박형준		

심사관 : 유효일

(54) 표면개질된 알루미늄계 세라믹스와 그 제조방법

요약

본 발명은 알루미늄계 소결체를 소결 분위기보다 산소분압이 높은 분위기에서 열처리함으로써 표면개질층을 형성하는 공정과 그에 의하여 표면개질된 알루미늄계 단상, 복합 세라믹스에 관한 것이다.

본 발명에서 밝혀낸 표면개질 알루미늄계 세라믹스의 제조 방법은 Fe 등의 첨가제를 포함하는 분말 성형체를 상대적으로 산소분압이 낮은 분위기(N_2 , $95N_2-5H_2$, H_2 등)에서 소결한 후 그보다 산소분압이 높은 분위기($80N_2-20O_2$, O_2 등)에서 열처리하는 공정으로 이루어진다. 이에 의하면 알루미늄계 재료의 표면에 취어진 입계구조를 가지는 입계이동층을 형성시킴으로써, 미세균열영역에서의 인성을 증진시킬 수 있고 또한 비교적 간단한 열처리 공정만을 추가하여 기존의 알루미늄 세라믹스 제조라인에 적용하여 제품을 생산할 수 있는 효과가 있다.

대표도

도1

명세서

도면의 간단한 설명

도 1은 분위기 변화 열처리로 생긴 입계이동 표면층과 내부의 미세조직을 나타내는 모식도이다.

도 2는 산소분압에 따른 $Al_2O_3-Fe_2O_3$ 계의 상태도, 산소분압 : (a) 1 기압, (b)

(0.03 기압.

도 3(a)는 입계이동이 일어나지 않은 일반적인 알루미늄 세라믹스의 미세조직 사진이고 (b)는 표면개질된 입계이동층의 미세조직 사진이다.

도 4는 표면개질된 재료(■)와 그렇지 않은 재료(□)의 Hertzian 압자하중에 따른 강도를 나타내는 그래프. 여기서 P_c 는 원추 균열이 형성되는 임계하중을 나타냄.

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 구조용 세라믹 부품 재료로 널리 사용되는 알루미나계 세라믹스의 표면을 인성이 높은 새로운 층으로 표면개질시킨 복합체와 표면개질 방법에 관한 것이다.

알루미나계 세라믹스는 전기 절연성이나 고주파 특성을 이용한 IC 기판 등의 전자기기 부품, 내마모나 내식성을 이용한 베어링 등의 산업기기 부품, 절삭공구 부품 등 산업의 모든 분야에 폭 넓게 이용되고 있다. 다른 세라믹 재료와 마찬가지로 알루미나계 세라믹스의 응용에 있어서 가장 큰 제한점은 세라믹스 고유의 취성파괴이다. 표면에 결함이 존재할 경우 재료의 강도가 저하되고, 하나의 주된 균열에서 급진적으로 파괴가 일어나는 취성파괴가 일어날 수 있어 부품의 신뢰도를 낮추게 되고 실제 응용이 확대되는 데 큰 제약이 되고 있다.

미세구조를 제어하여 알루미나계 세라믹스를 강화하려는 연구는 수십 년간 진행되어 왔다. 입자크기를 줄여 결함크기를 줄이거나, 제 2상을 첨가하거나, 급랭 열처리 혹은 Cr_2O_3 등으로 표면층을 치환하여 표면에 압축응력을 형성시키는 등, 알루미나계 세라믹스의 강화는 강도 향상과 주로 연관되어 왔다(E. Dorre and H. Hubner, Alumina: processing, properties and applications; pp.74-192, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 1984.1). 하지만 세라믹스 고유의 높은 취성에 기인한 급작스러운 파괴와 그로 인한 신뢰도 저하를 막기 위해서는 높은 강도와 함께 높은 인성이 요구된다. 즉 표면에 결함이 존재하여도 강도저하가 일어나지 않는 손상저항성(flaw tolerance)이 중요하다.

단상(monolithic) 세라믹스에서의 인성 강화는 주로 가교(bridging)와 뽑힘(pull out) 기구로 설명되어 진다. 재료의 인성을 높이기 위하여는 가교 입자의 수를 늘리고 가교 영역(wake zone)이 넓어야 한다. 이를 위하여는 입자 크기를 크게 하거나, 장경비를 크게 하거나, 입계 강도를 충분히 약하게 하고 잔류 응력을 입계에 도입하도록 미세구조를 제어해야 한다.

그러나 이와 같이 조절된 미세구조의 재료는 긴 균열 영역에서의 인성 증가는 얻을 수 있었지만, 큰 입자로 인하여 강도가 저하되고 약한 입계 강도 등에 의한 미세균열 영역에서의 인성(short-crack toughness)이 감소하게 되는 것으로 알려져 있다(N. P. Padture, C. J. Evans, H. H. K. Xu and B. R. Lawn, Enhanced Machinability of Silicon Carbide via Microstructural Design, *J. Am. Ceram. Soc.*, 78[1] 215-17 (1995)). 이는 미세균열에 관련된 내마모성 저하, 피로 특성 저하 등의 치명적인 단점을 수반한다.

강도와 인성, 내마모성, 피로 특성 등 기계 구조용 부품으로 요구되는 물성을 모두 충족시키기 위하여는 각각의 성질이 우수한 재료들의 복합화가 필요하다. 기존의 복합 재료는 각각의 재료가 시편 전체에 걸쳐 균일하게 분포된 구조를 가지고 있다. 따라서 복합 재료의 물성은 각각의 재료가 복합화된 정도에 비례하여 변하는 경향이 있다. 이러한 구조의 복합 재료는 인성 등의 긴 균열 영역의 물성과 내마모, 피로 특성과 같은 미세균열 영역의 특성 모두를 만족시키기 어렵다.

발명이 이루고자하는 기술적 과제

상기 문제의 해결을 위해서는 필요한 물성의 재료가 표면과 재료 내부에 각각 위치하는 층상 구조 혹은 코팅층 등의 표면개질 연구가 필요하다. 긴 균열 인성이 큰 미세구조의 재료에 미세균열 인성이 높은 표면층이나 코팅층을 형성한다면 강도, 인성, 내마모성, 피로 특성 등이 모두 사용 조건에 적합한 물성을 가지게 될 것이다. 층상 재료를 설계할 때 고려해야 할 점으로는 서로 다른 층의 결합에 기인하는 응력과 탄성/소성 불일치, 층의 두께, 층간의 계면 강도 등이 있다. 이들 조건이 최적화 되지 않으면 오히려 재료를 약화시킬 수도 있다.

본 발명은 이러한 점을 고려하여, 표면과 내부의 입자크기는 동일하지만 표면의 입계 형상을 변화시키므로써 층간 계면강도가 우수하고, 층간 응력, 탄성/소성 불일치가 없는 표면층을 화학구동력에 의한 입계 이동현상(chemically induced grain-boundary migration, CIGM)을 응용하여 형성하는 것을 목적으로 한다.

발명의 구성 및 작용

본 발명은 표면과 내부의 입자크기는 동일하지만 표면의 입계 형상을 변화시키므로써 층간 계면강도가 우수하고, 층간 응력, 탄성/소성 불일치가 없는 표면층을 화학구동력에 의한 입계이동현상(chemically induced grain-boundary migration, CIGM)을 응용하여 형성하는 것을 그 내용으로 한다. 도 1은 화학구동력에 의한 입계이동에 의하여 표면이 개질된 알루미나 세라믹스의 단면을 모식적으로 보인 것이다. 표면에 형성된 표면개질층은 시편 내부에서와 같이 일반적인 고상소결체에서 나타나는 직선적인 입계구조

와는 다른 휘어진 입계 모양을 가진다. 휘어진 입계 구조는 균열 전파 경로를 굴절시켜서 균열 전파에 저항하는 에너지를 더 요구할 것으로 생각된다. 지금까지의 연구에 의하면 균열 굴절에 의한 파괴인성 증가는 균열 가교나 뿔침에 의한 파괴인성 증진에 비하면 작다. 하지만 재료 표면의 flaw들이 자라기 시작할 때 혹은 전파 초기 상태에서는, 즉 미세 균열 영역에서의 인성에는 가교나 뿔침보다 더 중요한 역할을 할 것으로 생각된다. 따라서 입계이동에 의하여 표면개질된 표면층은 미세균열 영역에서의 인성에 더 영향 받는 마모 및 피로 특성을 향상시킬 수 있을 것이다.

여기서 화학구동력에 의한 입계이동은 고용도(solubility)가 있는 용질 원자가 재료에 고용되거나, 이미 고용되어있는 용질 원자가 빠져나가는 화학적으로 불안정한 상태일 때 용질원자들이 빠른 이동 경로인 계면을 따라 확산되어 새로운 평형 상태로 되면서 일어나게 된다. 이 현상은 일반적인 입자성장과는 달리 계면적을 증가시키고, 빠르게 이동하는 입계 뒤에 모상의 결정 구조와 방위관계는 동일하지만 조성이 다른 새로운 고용층을 형성하는 현상이다.

알루미늄에서의 입계이동은 Cr_2O_3 와 Fe_2O_3 를 용질원소로 하여 많이 연구되어 왔다. 알루미늄 소결체를 Cr_2O_3 또는 Fe_2O_3 분말과 같이 열처리하여 용질원소를 기상으로 고용시키거나, 이미 고용된 용질원소를 빠져나가게 할 때 입계이동이 일어나는 것이 관찰된다. 특히 Fe_2O_3 를 용질원으로 사용하는 경우에는 열처리 온도 혹은 분위기 변화에 따라 용해도가 변하여 스피넬(spinel) 등의 제 2상 석출물이 용해되어 입계이동이 일어나는 것을 보고한 연구 결과들이 있다.

입계이동의 구동력은 첨가되는 용질의 농도에 비례한다. 이제까지의 입계이동 연구에서는 비교적 높은 농도의 용질을 첨가해서 관찰한 결과가 대부분이다. 하지만 일반적으로 알루미늄에서는 Fe_2O_3 가 첨가되면 기계적 성질이 저하되고 많은 양의 Fe가 첨가되면 제 2상이 석출되어 강도가 낮아질 수 있고, 입자성장을 제어하기가 어려움이 따른다. 따라서 가능한 적은 양의 Fe를 첨가하여 충분한 입계이동층을 얻는 것이 중요하다.

지금까지 본 발명자들의 연구에 의하면 기상 혹은 액상 상태로의 첨가제 첨가나 온도변화 등에 비하여 열처리 분위기를 바꾸어 줄 때 매우 큰 입계이동의 구동력이 작용한다. Fe_2O_3 의 경우 도 2의 상태도에서와 같이 소결온도와 열처리 분위기의 산소분압에 따라 용해도 차이가 매우 크다. 실시예에서 실험한 1500°C에서 산소분압이 1 기압인 O_2 분위기(도 2(a))에서 Fe_2O_3 의 용해도는 약 20 wt% 정도이지만 산소분압이 낮아짐에 따라 감소하여 0.03 기압이하(도 2(b))에서는 Al_2O_3 에 대한 Fe_2O_3 의 용해도는 약 3 wt%이다. 본 발명자들의 연구에 의하면 산소분압이 0.03 기압보다 더 낮은 95N₂-5H₂ 분위기에서는 Fe_2O_3 의 용해도는 0.02 wt%이었으며, 산소분압이 약 10^{-14} 기압으로 더 낮은 H₂ 분위기에서는 용해도가 더 감소할 것으로 예상된다.

따라서, 매우 적은 양의 Fe를 고르게 분산시킨 분말 성형체를 비교적 산소분압이 낮은 분위기(N₂, 95N₂-5H₂, H₂ 등)에서 소결하여 입계에 잉여의 Fe가 존재하게 한 후, 그보다 산소분압이 높은 분위기(80N₂-20O₂, O₂ 등)에서 열처리하면 입계에 있던 잉여의 Fe가 입자 내로 용해되면서 매우 큰 입계이동의 구동력이 작용하여 아주 적은 양의 Fe 첨가로도 제 2상 없이 고르게 도 1과 같은 입계구조의 입계이동층을 얻을 수 있다.

즉, 소결시 입계에는 Fe가 제 2상의 형태로 존재하고, 열처리시에는 입계에 있던 Fe가 입자내로 고용되도록 하는 조건이면 입계이동층 형성이 가능하다. 도 2의 상태도에 의하면 H₂ 분위기와 같이 산소분압이 아주 낮은 경우 Al_2O_3 내에 Fe_2O_3 용해도는 소결온도에 따라 다르지만 0.01 wt% 이하이며 산소분압이 높은 산소분위기에서는 약 20 wt% 이하이다. 따라서 Fe_2O_3 의 양이 0.01 wt% 이상 20 wt% 이하인 경우 소결, 열처리 온도와 분위기에 따라 입계이동층을 형성할 수 있다. 결국, 본 발명에서 Fe_2O_3 의 첨가범위는 0.01 wt% 이상 20 wt% 이하로 할 수 있다. 아래에 기술된 본 발명의 실시예에서는 본 발명의 특징을 보이기 위하여 0.156 wt%(1000 ppm Fe/Al)로 하였지만 Fe_2O_3 의 양이 이 농도에 국한되는 것은 아니며 0.01 wt% 이상 20 wt% 이하이면 어떤 양도 가능하다.

화학 구동력에 의한 입계이동은 일반적인 체확산(volume diffusion)에 의한 합금층 형성 온도보다 훨씬 낮은 온도에서도 빠른 속도로 일어날 수 있다. 알루미늄계 재료의 열간 에칭(thermal etching)은 열처리 분위기에 따라 1000°C에서 1600°C 범위에서 온도에 따라 수 분에서 수 시간동안 행해진다. 일반적으로 열간 에칭이 일어날 정도의 온도에서는 입계이동이 일어나게 되므로 열처리는 1000°C에서 1600°C 사이에서 행할 수 있다. 따라서 열처리 온도는 아래의 실시예에서는 본 발명의 특징을 보이기 위하여 하나의 온도인 1500°C로 잡았지만 이 발명의 열처리 온도가 1500°C에 국한되는 것은 아니고 1000°C에서 1600°C 범위이면 어느 온도나 가능하다.

이하 본 발명의 내용을 실시예에 의해 구체적으로 설명하고자 한다. 하기의 실시예는 본 발명의 아이디어를 단상 알루미늄계에서 적용하여 표면층을 형성시킨 실시예이다. 하지만 알루미늄 재료에서는 Fe_2O_3 에 의한 입계이동 현상을 일으킬 수 있으므로, 알루미늄계 복합재료에도 같은 방법으로 본 발명은 적용가능하며, 따라서 아래의 실시예에 나타난 알루미늄에만 국한되는 것은 아니고 알루미늄계 복합재료에도 적용된다.

아래에 기술된 본 발명의 실시예는 Al_2O_3 - Fe_2O_3 계 상태도의 특징을 이용하여 예시한 것으로 발명의 기본 아이디어는 표면의 입계구조를 일반적인 다결정체의 직선적인 입계구조와는 다르게, 도 1에서와 같이 휘어진 구조로 만들어 미세균열 영역에서의 인성을 증가시키는 것이다.

따라서 알루미늄계에서 화학적 구동력에 의한 입계이동을 일으킬 수 있는 다른 첨가제에 의한 표면층 형

성에도 기본 아이디어는 마찬가지로 적용가능하다. 즉, Al_2O_3 - Cr_2O_3 계의 경우, 두 재료는 서로 전을 고용체를 이룬다. 적절한 양의 Cr_2O_3 를 기상 상태로 첨가하거나 혹은 열처리 온도를 변화시키면 마찬가지로 입계이동은 일어나고 휘어진 입계이동층을 얻을 수 있고, 또한 입계구조 변화로 인한 인성 증진 효과 역시 얻을 수 있다.

(실시예 1 >

알루미나 분말에 Fe를 $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ 상태로 1000 ppm (Fe/Al) 첨가하여 12시간 에틸 알코올에서 습식 혼합하였다. 건조된 슬러리는 막대모양($5 \times 5 \times 21$ mm)으로 모양을 갖출 정도의 낮은 압력으로 성형한 후 200 MPa로 냉간정수압 성형하였다. 800℃에서 2시간 하소 후 1500℃, 95 N_2 -5 H_2 환경에서 3시간 소결하였다. 3 μ m까지 미세연마한 소결체를 표면에 입계이동층을 형성시키기 위하여 1500℃, 공기 분위기에서 1.5 시간동안 열처리하였다. 열처리 분위기에서 가스 유량은 200 sccm으로 유지하였다.

(비교예 1 >

열처리 공정을 소결분위기(95 N_2 -5 H_2)에서 실시하는 것 이외에는 실시예 1과 동일한 조건으로 실시하였다.

실시예 1과 비교예 1에서 얻은 결과를 전자 현미경으로 관찰하면, 소결 분위기와 같은 분위기(95 N_2 -5 H_2)에서 열처리한 시편(비교예 1)은 일반적인 다결정체 미세조직을 보인다. (도 3(a)) 하지만 소결 분위기보다 산소분압이 높은 분위기(80 N_2 -20 O_2)에서 열처리한 시편의 표면에는 입계이동층이 형성되어 도 3(b)와 같이 입계에 새로운 고용층이 형성되고 입계 구조가 직선적이지 않고 휘어진 구조를 가진다. 휘어진 입계 구조는 균열 전파 경로를 굴절시켜서 균열 전파에 저항하는 에너지를 더 요구할 것으로 생각된다.

(시험예 1 > Hertzian 압자실험

실시예 1과 같은 방법으로 제조된 시편을 열처리 시에 생긴 thermal groove를 제거하기 위하여 1 μ m 다이아몬드 페이스트(diamond paste)로 미세연마한 후 반경 3.18 mm의 WC 볼을 이용하여 500 - 2000N 하중으로 Hertzian 압자실험을 하였다. 크로스헤드(Crosshead) 속도는 0.2 mm/min으로 하였다. 압자에 의하여 생긴 압흔과 원추균열을 광학현미경으로 관찰하였다. 원추균열을 형성하는 임계하중은 분위기 변화로 인하여 표면에 입계이동층이 형성된 시편의 경우 900 N이었으며 표면에 입계이동층이 형성되지 않은 시편의 경우 700 N이었다. 즉 표면에 입계이동층이 형성된 경우 200 N이 증가하였다.

(시험예 2 > Vickers 압자실험

Hertzian 압자 실험에서와 같이 준비된 시편의 표면에 2 Kg중의 하중으로 Vickers 압자 실험으로 인성을 측정하였다. 입계이동층이 형성된 시편의 인성은 $3.43 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 로 형성되지 않은 시편의 $3.12 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 보다 약 10% 증가하였다.

(시험예 3 > 강도측정

실시예 1과 같은 방법으로 제조된 시편을 강도측정을 위하여 $3 \times 4 \times 16$ mm 크기로 가공하여 인장응력을 받을 면을 다이아몬드 페이스트(diamond paste)로 1 μ m 까지 미세연마하고 45° 각도로 모서리를 가공하였다. Inner span 1/4', outer span 1/2' 치구에서 크로스헤드(crosshead) 속도 20 mm/min으로 4점 굽힘강도를 측정하였다. 각각 8개의 시편을 시험하여 평균값을 강도로 결정하였다. 입계이동층이 형성된 경우, 강도는 434 ± 33 MPa로 형성되지 않은 시편의 449 ± 47 MPa와 유사한 값을 보였다.

강도저하 측정은 4점 굽힘강도 측정용 시편과 같은 크기로 가공한 시편의 미세연마면에 500 - 2000 N 하중으로 Hertzian 압자 실험 후 하중이 가해지는 동안 생길 수 있는 slow crack growth 효과를 줄이기 위하여 가능한 빠른 crosshead 속도(20mm/min)로 4점 굽힘강도 시험하였다. 각각의 압자 하중당 3개의 시편을 시험하였고 파괴된 시편의 파괴원을 광학현미경으로 확인하였다. 강도저하 결과는 도 4와 같다. 두 종류의 시편 모두 취성 파괴 거동을 보이지만 입계이동층이 형성된 시편이 원추균열 형성에 대한 임계하중이 커서 더 높은 압자 하중에도 높은 강도값을 유지하고 있다.

발명의 효과

본 발명에 의하면 지금까지의 알루미나계 세라믹스의 고인성화 방법과는 달리 제조공정중에 간단한 분위기 변화 열처리 공정 한단계를 추가하여 표면의 미세구조를 변화시킴으로써 내부와 입자크기 등의 미세 조직은 동일하면서 휘어진 입계구조를 가진 결합강도가 매우 높은 표면층을 형성할 수 있다. 형성된 표면층은 제조공정이 간단하고, 매우 얇은 두께에서도 그 특성이 나타나며, 휘어진 입계에 의한 균열의 굴절 전파 등에 의해 미세 균열 인성을 증진시킬 수 있다. 즉, 표면에 입계이동층을 형성함으로써 미세균열에 관련된 재료의 내구성과 마모 특성을 향상시킬 수 있고 또한 비교적 간단한 열처리 공정만을 추가하여 기존의 알루미나 세라믹스 제조라인에 적용하여 제품생산이 가능한 효과가 있다.

(57) 청구의 범위

청구항 1

알루미나계 세라믹스의 제조에 있어서, 철 성분(Fe)을 함유한 알루미나 분말 성형체를 산소분압이 상대적으로 낮은 분위기(N_2 , $95N_2-5H_2$, H_2 등)에서 소결하는 공정 및 소결 후 소결 환경보다 산소분압이 높은 분위기($80N_2-20O_2$, O_2 등)에서 열처리하는 공정에 의해 알루미나계 세라믹스의 입계이동 표면개질층을 형성함을 특징으로 하는 표면개질된 알루미나계 세라믹스의 제조방법.

청구항 2

제 1항에 있어서, 철 성분의 함량은 Fe_2O_3 로 환산하였을 때 알루미나 무게의 0.01 - 20 wt%임을 특징으로 하는 표면개질된 알루미나계 세라믹스의 제조방법.

청구항 3

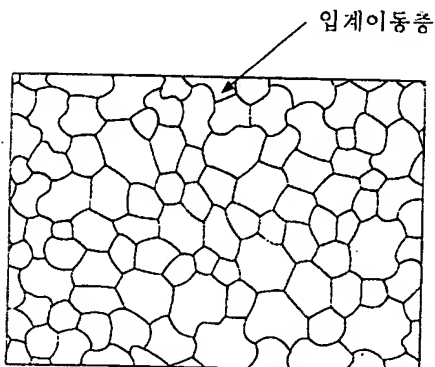
제 1항에 있어서, 열처리 공정은 1000℃에서 1600℃ 범위에서 수 분에서 수 시간동안 열처리 하는 것을 특징으로 하는 표면개질된 알루미나계 세라믹스의 제조방법.

청구항 4

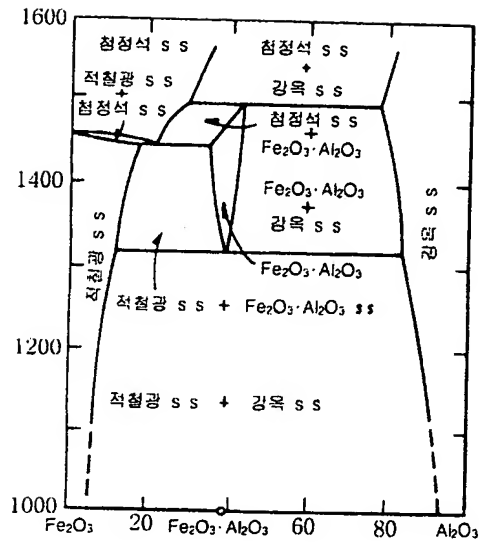
특허청구범위 제 1항 내지 제 3항 중 선택된 어느 한항의 방법을 이용하여 표면개질된 알루미나계 단상 또는 복합 세라믹스.

도면

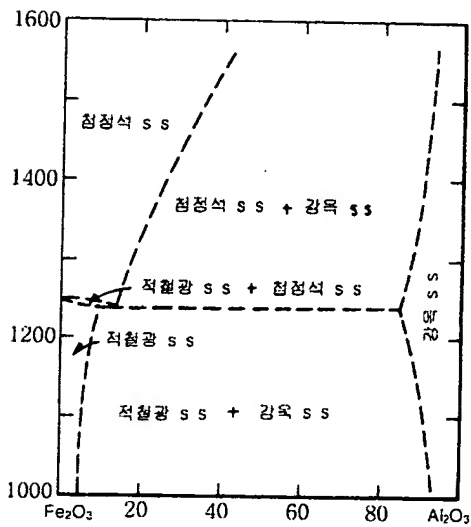
도면1



도면2a



도면2b



도면3a



도면3b



도면4

